

# Noticia Sôbre um Programa de Estudos Relacionados com a Aeração Artificial das Águas dos Rios Tietê e Pinheiros na cidade de São Paulo (\*\*\*)

**ARMANDO FONZARI PERA**

engenheiro químico

**JOSÉ MARIA COSTA RODRIGUES**

engenheiro civil

Muitos rios e lagos recebem descargas de poluição orgânica superiores às que poderiam naturalmente oxidar.

Dêste fato decorrem condições de depressão do oxigênio dissolvido na água, com a conseqüente instalação de processos anaeróbios de decomposição da matéria orgânica.

Há cêrca de vinte anos a complementação artificial da capacidade natural de reaeração de cursos de água vem sendo experimentada e estudada.

A literatura existente descreve trabalhos realizados na América do Norte, Inglaterra, Alemanha, Suécia e Polônia.

A possibilidade de aplicação desta técnica aos trechos dos rios Tietê e Pinheiros no Município de São Paulo foi entre nós sugerida em conferência pronunciada no ano de 1961 pelo engenheiro químico Armando Fonzari Pera, tendo em vista as condições sanitárias vigentes que podem ser consideradas como de calamidade pública.

Com efeito, o problema da disposição dos esgotos da área metropolitana de São Paulo, para a qual contribui uma população de cinco milhões de almas e uma indústria cujos resíduos líquidos equivalem em termos de poluição a outros dois milhões de habitantes, é um problema dos mais complexos e controvertidos.

Para complicá-lo ainda mais, existe o sistema de aproveitamento hidrelétrico das águas da bacia do Tietê a montante de Pirapora. Como parte integrante dêsse sistema foi criado, através de barragem do Tietê a jusante da cidade, em Parnaíba, o chamado Reservatório de Parnaíba, o qual se estende pela calha do rio desde Parnaíba até um ponto a montante de Guarulhos, e pela calha do Pinheiros desde a foz até a Usina de Traição.

Para êste reservatório são drenados praticamente todos os esgotos da área, que não são infiltrados no solo, e cujas vazões médias podem ser estimadas em 10 m<sup>3</sup>/s de esgotos sanitários e outro tanto de esgotos industriais, aproximadamente.

A única estação de tratamento com capacidade significativa, a de Vila Leopoldina, proporciona apenas tratamento primário a uma vazão média de 2,5 m<sup>3</sup> por segundo.

A carga poluidora lançada diàriamente ao rio, como o presente estudo comprovou, apresenta uma demanda bioquímica de oxigênio de ordem de 200 toneladas, enquanto que a capacidade de reaeração natural do trecho do rio atingido por esta poluição não ultrapassa um décimo daquele valor.

---

(\*\*\*) Trabalho apresentado ao III Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - Curitiba - 1965.

O resultado é a situação que classificamos como de calamidade pública, sobejamente conhecida e sentida por todos e que dispensa maiores comentários.

É oportuno lembrar, ainda mais, que a drenagem natural da bacia do Tietê, que contribui para o chamado Reservatório de Parnaíba (inclusive a parcela bombeada do Reservatório de Pirapora) é da ordem de 65 m<sup>3</sup>/s, valor médio para um período de muitos anos.

A relação de diluição dos esgotos lançados neste reservatório é atualmente cêrca de 6 para 1, porém no futuro é previsto um tal crescimento nesta área, que aquela relação será de 1 para 1 e a situação sensivelmente agravada.

Então, mesmo que sejam construídas, e eficientemente operadas, estações de tratamento para a totalidade dos esgotos sanitários e industriais previstos para o futuro, não se conseguirá resolver o problema. Os efluentes tratados não encontrarão condições de diluição adequada no Reservatório de Parnaíba e a situação vigente hoje em dia persistirá. Urge reformular o problema em busca de solução adequada.

Várias são as possibilidades. Uma orientação seria desviar parte da carga poluidora dessa bacia, por meio de bombeamento para outra bacia com condições de diluição mais favoráveis.

Outra diretriz seria proporcionar artificialmente ao Reservatório de Parnaíba capacidade adicional de oxidação.

O presente estudo tem por finalidade examinar a viabilidade desta segunda alternativa. Para sua realização foram previstas três etapas, a saber:

- 1 — levantamento das condições de poluição;
- 2 — estudos em modelo reduzido sôbre aeração mecânica superficial;
- 3 — anteprojeto de um sistema de aeração dos rios Tietê e Pinheiros.

A primeira etapa foi realizada no período que decorreu de junho de 1963 a maio de 1964.

## 2. PLANEJAMENTO DOS TRABALHOS DA 1.<sup>a</sup> ETAPA DO PROGRAMA

### Pontos escolhidos.

Foi estabelecido, em princípio, que seriam fixados pontos de amostragem em lugares perfeitamente definidos e de acesso fácil e permanente, isto porque num trabalho extenso poderiam surgir condições de tempo ou de vazões dos cursos d'água que viessem dificultar o acesso. Por essa razão, a grande maioria dos pontos foi coincidente com as pontes que atravessam os dois rios estudados.

Compreendendo o estudo, o percurso situado entre Guarulhos e a reprêsa Billings, evidentemente e "a priori", dois dos dez pontos necessários já ficaram fixados como sendo na ponte de Guarulhos (sôbre o rio Tietê) e na ponte de Interlagos (sôbre o rio Pinheiros).

As diversas contribuições poluidoras constituíram os fatores predominantes na escolha dos outros pontos. Entre essas, sobressaindo-se o rio Tamanduateí, o esgoto tratado em Vila Leopoldina e o volume de água revertido ao Tietê abaixo da confluência com o rio Pinheiros.

Nestas condições obrigatoriamente surgiram mais alguns pontos, como sejam: antes e depois da contribuição do Tamanduateí, respectivamente, na ponte das Bandeiras e na avenida Rudge; antes e depois do lançamento de Vila Leopoldina, respectivamente, Vila dos Remédios e Jaguaré.

A influência da reversão do Tietê tornou-se difícil de ser exatamente identificada em virtude de coincidir com o lançamento de Vila Leopoldina, mas mesmo assim foi estabelecido um ponto na instalação da São Paulo Light, denominado Retiro, aliás o único ponto não coincidente com travessia fixa.

Após estas considerações, a relação completa dos pontos passou a ser a seguinte:

**Ponto 1** — Guarulhos — para determinação das características no início do percurso a ser estudado.

**Ponto 2** — Vila Maria — ponto intermediário entre o início e a primeira grande contribuição (rio Tamanduateí) e destinado a permitir o estudo das variações do trecho.

**Ponto 3** — Ponte das Bandeiras — imediatamente antes da contribuição do rio Tamanduate, permitindo avaliar as alterações do primeiro trecho, isto é, do percurso menos atingido do rio Tietê.

**Ponto 4** — Avenida Rudge — suficientemente a jusante da contribuição do Tamanduateí, permitindo avaliar os efeitos dessa contribuição.

**Ponto 5** — Avenida Santa Marina — com características intermediárias, como o ponto de Vila Maria, e permitindo avaliação das influências das diversas contribuições dos pequenos córregos veiculadores dos resíduos dos bairros adjacentes (principalmente córregos Mandaquí e Água Prêta).

**Ponto 6** — Vila dos Remérios — imediatamente a montante da descarga de Vila Leopoldina e da reversão do rio Tietê proveniente de Osasco, possibilitando a definição das condições criadas com todas as influências de montante, inclusive o agrupamento industrial do bairro do Anastácio.

**Ponto 7** — Retiro ponto estabelecido sobre as estruturas flutuantes destinada à retenção da vegetação aquática. Dadas as condições de variação da mistura dos diversos fluxos que convergem neste ponto, provenientes da ETE Vila Leopoldina, do rio Tietê a montante e do mesmo rio a jusante revertido, não apresentou este ponto resultados para uma perfeita definição das cargas correspondentes às três contribuições.

**Ponto 8** — Ponte do Jaguaré — este ponto, além de possibilitar a amostragem representativa da mistura dos três grandes fluxos constituintes do curso d'água nesse ponto (Tietê de cima, emissário de Vila Leopoldina e Tietê da baixo), delimita, praticamente, o início do canal do rio Pinheiros, onde as condições de vazão, velocidade e leito oferecem possibilidades de modificações das características da água.

**Ponto 9** — Ponte do Morumbi — equivalendo a dois terços da extensão do canal do rio Pinheiros, no sentido real de seu curso, isto é, em direção à Billings e após os lançamentos de cerca de metade da zona sul da cidade (Pinheiros).

**Ponto 10** — Ponte de Interlagos — ponto final do percurso estudado e apresentando como principais características diferenciadoras do ponto anterior as influências das contribuições poluidoras do restante da zona sul (córrego Traição, pequenos emissários e Santo Amaro) e a contribuição benéfica da descarga do excedente de água da represa de Guarapiranga.

#### **Métodos de amostragem e tipos de determinação.**

As amostras foram colhidas, nas seis primeiras ocasiões de amostragem, previstas no programa, em três horários diferentes: das 4 às 8 horas, das 11 às 15 horas e das 17 às 21 horas e cada uma analisada separadamente.

Nas amostragens subseqüentes, as amostras foram colhidas apenas no horário de 11 às 15 horas.

As determinações foram feitas de acordo com os métodos recomendados pela American Public Health Association, Inc. "Standard Methods for the Examination of Water, Sewage, and Industrial Wastes", 11.<sup>a</sup> edição, e as amostras colhidas com amostrador recomendado pela mesma entidade para oxigênio dissolvido.

Foram determinadas as características seguintes: Coloração, Turbidez, Odor, pH, Condutividade, Temperatura, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Alcalinidade, Gás Carbônico Livre, Cloretos, Oxigênio Consumido, Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio. Nas parte inicial e final do canal do rio Pinheiros (Ja-

guaré e Interlagos), foram determinados fosfatos, nitrogênio amoniacal, orgânico, nitratos e nitratos, com o objetivo de ser verificada a presença de nutrientes necessários ao desenvolvimento de algas.

As amostras para exame bacteriológico foram também colhidas, preservadas e preparadas, como recomendado pelo "Standard Methods" acima referido, assim como o procedimento analítico adotado foi o das Membranas Filtrantes, utilizando Membranas Millipore tipo H, seguindo também o que o mesmo prescreve.

Para o programa de hidrobiologia foram realizadas duas colheitas em cada data e estação de amostragem. Uma, da água superficial, obtida com rede de náilon específica para plancton, fornecendo pois uma amostra concentrada. A outra constou de retirada de diferentes materiais das margens, como lodo, pedras, vegetações etc., para lavagem posterior, cuja água resultante também proporcionou uma amostra concentrada.

As amostras foram mantidas em refrigerador, até o momento de cada uma ser examinada, uma vez que os exames iniciaram-se sempre imediatamente após a coleção, dispensando portanto métodos químicos de preservação.

Os exames constaram de identificação de gêneros de organismos e contagem porcentual.

Foi utilizada a lâmina de contagem de Sedgwick-Rafter e o processo de contagem de fileira.

O microscópio calibrado, usando-se o micrômetro de Whipple, forneceu para uma combinação de ocular x 10 e objetiva x 20 (portanto 200 aumentos) um campo de 0,5 x 0,5 mm.

Foram examinadas duas fileiras, no sentido do comprimento total da lâmina e em toda a profundidade de 1 mm, a fim de incluir as formas flutuantes. Assim, o volume examinado foi sempre 50 mm<sup>3</sup> e a contagem porcentual é ao mesmo referida.

As formas possíveis foram computadas em células individuais, inclusive grupos coloniais apresentando regularmente número constante de células.

Formas coloniais irregulares e colônias regulares mas de contagem celular imprecisa foram consideradas em unidades de área standard.

Formas filamentosas foram computadas em termos de unidade de comprimento de 100 u.

Fragmentos de organismos, bem como formas pequenas, inclusive no limite de visibilidade da ampliação microscópica utilizada nos exames, portanto de difícil discriminação positiva, não foram contados, uma vez que a lâmina de Sedgwick-Rafter não permite o uso de objetivas de maior poder de resolução. Outrossim, a presença de tais organismos foi registrada como observação, no item final de cada folha do exame, ao lado de outros de maior porte, como vermes, larvas de insetos etc. que, embora não pudessem ser contados no tipo de exame realizado, apresentam subsídio importante para a interpretação das condições sanitárias dos rios estudados, razão pela qual foram mencionados.

### **Dados hidrológicos**

Planejou-se deduzir os valores das vazões nas secções e dias de amostragem, a partir dos dados de bombeamento das usinas do sistema e dos dados de escoamento total da bacia até Pirapora, fornecidos pela São Paulo Light, levando-se em conta ainda pequenas correções devidas a adução de águas de outras bacias, para abastecimento da Capital e do ABC, e sua restituição aos trechos dos cursos d'água considerados.

### **Apresentação dos dados.**

Foram realizadas 4.140 determinações de características físico-químicas 120 ensaios bacteriológicos e 120 exames hidrobiológicos.

Estes dados, juntamente com os relativos às vazões dos rios, foram objeto de minucioso relatório apresentado ao DAE em novembro de 1964.

Os dados coligidos permitiram a avaliação da carga poluidora média presente nas diversas secções dos trechos dos rios considerados.

A tabela seguinte indica esses valores, em termos de toneladas de BOD (5dias 20°C).

Trecho	Valores medidos BOD ton/dia	Redução por Aeração Natural ton/dia	Total ton/dia	Valor adotado ton/dia	Acumulado ton/dia
Guarulhos - V. Maria	22,5	2,4	24,9	25	25
V. Maria - P. Bandeiras	2,6	3,8	6,4	6	31
P. Bandeiras - P. Limão	75,1	0,8	75,9	76	107
P. Limão - Av. S. Marina	6,9	1,3	8,2	8	115
Av. S. Marina - V. Remédios	20,8	2,2	23,0	23	138
V. Remédios - Jaguaré	36,2	2,7	38,9	39	177
Jagaré - Morumbi	6,1	4,9	10,0	10	187
Morumbi — Interlagos	7,8	3,8	11,6	12	199

### 3. PLANEJAMENTO DOS TRABALHOS DA 2.<sup>a</sup> ETAPA DO PROGRAMA

Na 2.<sup>a</sup> etapa do programa foram inicialmente previstas três séries de experimentos em escala reduzida e relacionados com a aeração mecânica artificial das águas.

A primeira série serviria para a determinação dos parâmetros físico-químicos, tais como: coeficientes globais de transferência de oxigênio em diversos pontos dos rios, velocidade de consumo de oxigênio (up-take rate), gasto de energia por unidade de peso de oxigênio transferido do ar para o líquido etc.

A segunda série de experiências deveria simular em escala reduzida o tipo de tratamento ou processo oxidativo imaginado, para uma primeira idéia sobre os resultados e a eficiência do mesmo, bem como observação de efeitos secundários, tais como produção de lodo etc.

Em relação a esta segunda série de testes, cabem as seguintes considerações:

Qualquer processo de aeração artificial que se proponha para um rio ou canal, por razões econômicas, não poderá distribuir-se de maneira contínua em toda a superfície líquida, porém deverá concentrar-se em determinados pontos discretos de secções transversais do canal, espaçadas entre si e que denominaremos "estações de aeração". Para transferência eficiente de oxigênio atmosférico para o líquido, é conveniente dispor-se do maior gradiente de concentrações possível, isto é, a concentração de O<sub>2</sub> na água deve situar-se em torno de zero, quando esta atingir uma secção de aeração. Isto implica num afastamento conveniente entre as estações de aeração, a fim de permitir a decorrência do tempo necessário para que o oxigênio transferido ao líquido possa ser consumido nas reações químicas e biológicas que se instalam no trajeto entre duas estações consecutivas.

Para estas duas séries de experimentos está sendo utilizada uma instalação piloto, descrita detalhadamente mais adiante, porém constando essencialmente de um tanque metálico equipado com uma turbina especial para aeração superficial, e para o qual é bombeada a água do rio no ponto do trecho estudado.

Estas duas séries de experiências foram iniciadas em agosto de 1964, porém tiveram que ser interrompidas em razão da estação excepcionalmente chuvosa que se iniciou em setembro, modificando substancialmente a qualidade das águas do Tietê e do Pinheiros. Serão retomadas e provavelmente concluídas este ano.

A terceira série de experiências previa a investigação dos aspectos hidráulicos do problema, em conexão principalmente com a forma do escoamento das águas nas imediações

das secções de aeração, os reflexos decorrentes do efeito de bombeamento causado pelas turbinas, a relação entre os filetes de fluxo em curto circuito, não afetados pelas turbinas, e a profundidade das águas etc.

Pensou-se inicialmente na construção de um modelo reduzido de um trecho do canal do Pinheiros, porém problemas ligados a semelhança hidráulica conduziram a dificuldades na obtenção de micromotores elétricos e abandono desta orientação.

Pensa-se atualmente em propor a construção de um protótipo em escala semi-industrial para ser operado no próprio canal do Pinheiros com tal finalidade.

#### 4. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

##### Descrição Geral

O equipamento utilizado foi projetado para poder ser transportado em caminhão, permitindo o deslocamento fácil de um ponto para outro.

Foi imaginado para ser utilizado na margem de rios, lagos etc. e consta de um tanque de aço, aberto superiormente, equipado com um dispositivo de aeração artificial, e de um sistema de tomada de água composto de mangote de sucção, bomba centrífuga e mangote de recalque, bem como de peças acessórias, equipamento elétrico e instrumentos necessários.

Foi utilizado um pequeno laboratório portátil para o controle dos resultados.

##### Tanque Metálico.

Trata-se de um tanque de forma retangular com 3,5 m de comprimento, 2,0 m de altura e 2,0 m de largura, construído em chapa de aço 3/16", reforçado na base superior, na borda inferior e a meia altura com 3 anéis em cantoneira 2 1/2" x 2 1/2" e dotado internamente de guias para utilização de "stoplogs" que permitem a subdivisão interna do tanque.

Tôda a estrutura está rigidamente ligada a uma base em forma de grelha composta por duas vigas longarinas em perfis "U" de 4" x 1 5/8" e duas vigas transversais em cantoneira 2 1/2" x 2 1/2" contraventadas. O tanque possui uma plantaforma superior vencendo o vão menor com 0,8 m de largura, montada sobre vigas de perfil "U" de 4" x 1 5/8" e dotada de corrimão e escada tipo "marinheiro". Numa das extremidades da borda superior do tanque foi projetada uma "caixa de chegada" com 1,0 m de comprimento, 0,2 m x 0,2 m de sucção transversal, possuindo de um lado uma abertura circular por fora, ligada a tubo de aço  $\varnothing$  4", com flange "standard" e, do outro lado, um vertedor triangular com abertura em ângulo de 60°, abrindo para o lado interior do tanque.

Um dos quatro cantos do tanque foi utilizado para a construção de um compartimento triangular no qual foi colocada a abertura de saída também em tubo de aço  $\varnothing$  4" flangeado.

O tanque possui ainda uma abertura para descarga de fundo com diâmetro de 4", dotada de registro manual.

A Ilustração n.º 1 indica êsses detalhes.

##### Sistema de Tomada de Água

Consta de bomba centrífuga marca HERO, modelo monobloco 126I.26 com motor elétrico de 1,5 HP — 2 polos — 220/380 volts — 60 ciclos.

A bomba está acoplada ao mangote de sucção de  $\varnothing$  2" e 5 metros de comprimento, com válvula de pé de 1 1/2" na extremidade, bem como ao mangote de recalque com 15 m de comprimento e  $\varnothing$  2", registro de gaveta  $\varnothing$  4" montado junto à "caixa de chegada" do tanque metálico.

## Dispositivo de Aeração Artificial

Consta de um aerador superficial marca VORTAIR (Infilco Inc.), modelo n.º 10 V, composto essencialmente de turbina de paletas radiais e eixo vertical, acionada por motor e redutor de velocidade, conforme indicado na Ilustração n.º 1.

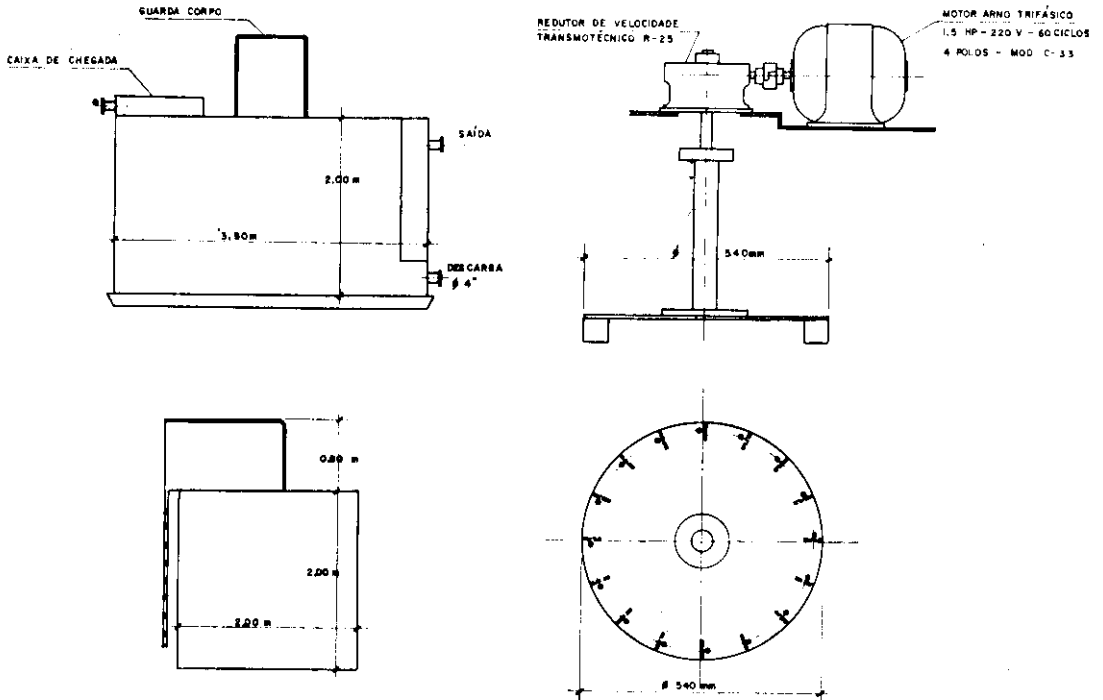


Ilustração n.º 1 — Esquema da instalação piloto de aeração.

O motor é de 1 1/2 HP, 4 polos, 222 volts, 60 ciclos, trifásico e a rotação da turbina é 220 rpm.

### Equipamento de Controle

O motor elétrico da bomba é comandado por chave de força tripolar blindada, de 30 amperes, com fusíveis, e o motor do aerador por chave magnética marca AUTO-MEMOTA — STARTER de 5 amperes, categoria n.º 52 AD, controlada por relógio de tempo, programador marca SERMAR, modelo Cronomat. Os dois circuitos são comandados por uma chave geral do tipo de faca blindada 30 amperes.

Tôdas as interligações foram feitas com cabo de borracha P. B. 3 x 12.

## 5. TEORIA DA AERAÇÃO E O PROGRAMA DAS EXPERIÊNCIAS

### 1 — Determinação experimental do coeficiente global de transferência do oxigênio atmosférico para a água limpa.

A transferência do oxigênio do ar para a água pode ser descrita, aproximadamente, pela lei da difusão de Fick.

$$-\frac{dD}{dt} = K_{L_a} \cdot D \quad (1)$$

onde

$D$  é o deficit de oxigênio dissolvido no líquido.

$K_{L_a}$  é o coeficiente global de transferência da massa.

A integração desta equação no intervalo de tempo ( $0 - t$ ) resulta em

$$\log D_t = - K_{L_a} \cdot t + \log D_o \quad \text{ou} \quad (2)$$

$$t = \frac{\log D_o}{K_{L_a}} - \frac{1}{K_{L_a}} \log D_t$$

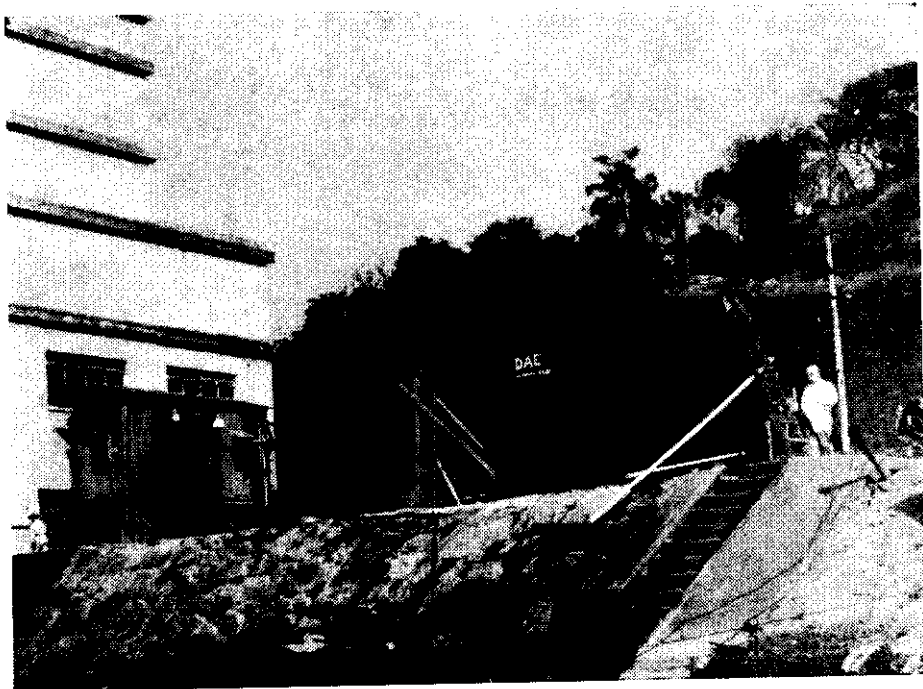


Foto n.º 1 — Instalação piloto de aeração, montada às margens do canal do Pinheiros junto à Usina da Traição.

equação linear do tipo

$$Y = a + bx$$

onde grandeza Y é função logarítmica da variável x, sendo a e b constantes. O inverso do coeficiente angular desta reta é o coeficiente global de transferência de massa procurado. Este coeficiente global é referido às condições específicas de cada caso, isto é, a cada tipo de sistema aerador — tanque de aeração, onde está instalado.

O procedimento para obtenção experimental do valor do  $K_{L_a}$  é o seguinte:

- 1.1 — O tanque é inicialmente cheio com água limpa (água da rede).
- 1.2 — A água é desoxigenada quimicamente, com sulfito de sódio e cloreto de cobalto.
- 1.3 — É feita amostragem e determinação do oxigênio dissolvido que deve ser zero.
- 1.4 — O equipamento de aeração é acionado e cronometra-se o tempo, a partir desse instante.
- 1.5 — É feita a amostragem de minuto em minuto e determinado o oxigênio dissolvido.
- 1.6 — Calcula-se a concentração de saturação de  $O_2$  para as condições de temperatura e pressão da experiência.
- 1.7 — Com os dados obtidos são calculados os deficits de  $O_2$  e os dados serão colocados em papel monologarítmico, traçando-se também a linha de melhor aderência aos mesmos.
- 1.8 — Calcula-se o coeficiente global  $K_{L_a}$  que é o inverso do coeficiente angular da linha de melhor aderência.



1.9 — Corrige-se o valor do coeficiente global  $K_{L_s}$  obtido para as condições padronizadas de 20°C e 760 mm Hg com a relação

$$K_{L_s} = K_{L_a} \frac{T_s}{T} \cdot \frac{\eta}{\eta_s} \quad (3)$$

onde  $T_s = 293^\circ \text{K}$

$T$  = temperatura do líquido nas condições experimentais em  $^\circ\text{K}$

$\eta_s = 1.005$  centipoise

$\eta$  = viscosidade absoluta da água nas condições experimentais.

2 — **Determinação experimental do coeficiente global de transferência do oxigênio atmosférico para um líquido que se apresente com apreciável "velocidade de consumo" de oxigênio.**

Os líquidos poluídos que apresentam demanda de oxigênio podem exercer esta demanda, com maior ou menor intensidade, segundo a população biológica ativa seja maior ou menor.

A medida desta intensidade, que alguns autores americanos e ingleses denominam "oxigen up-take rate" e outros "respiration rate" e que designaremos por "velocidade de consumo de oxigênio", pode ser feita em laboratório num teste semelhante ao do BOD, ou por métodos manométricos (respirômetro de Warburgh) ou polarográficos.

Pode também, em determinadas condições, ser obtido na própria instalação piloto de aeração, quando é possível desprezar a aeração natural pela superfície, em face do valor da "velocidade de consumo" de oxigênio do líquido.

Num sistema que apresenta apreciável "velocidade de consumo de oxigênio", que designaremos pela letra  $r$  e suporemos constante no tempo (da experiência), a equação (1) se escreve

$$-\frac{dD}{dt} = K_{L_s} D - r \quad (4)$$

Realizada a aeração deste sistema, verifica-se que não se atinge a concentração de saturação do oxigênio, porém uma concentração menor correspondente a um deficit de equilíbrio o qual depende da intensidade ou velocidade de consumo de oxigênio e do sistema aerador.

Uma vez atingido o equilíbrio e sendo

$$\frac{dD}{dt} = 0$$

da equação (4) teremos

$$K_{L_s} = \frac{r}{D_{eq}}$$

onde

$D_{eq}$  = é o deficit de equilíbrio do sistema.

Segundo experiências de RAND\* o valor do coeficiente global de transferência de oxigênio do ar para o esgoto doméstico é da ordem de 60 a 70 por cento do referente à transferência para água limpa.

Nas águas poluídas, que são diluições de variado grau entre água limpa e esgotos domésticos e industriais, este fato deve ser considerado.

(\*) RAND — JWPCF — Vol. 31 n.º 10 - out. 1959.

### 3 — Determinação do consumo de energia e eficiência do aerador.

A potência consumida pelo motor elétrico é facilmente medida com medidor de energia, e potência útil transferida ao líquido pode ser calculada a partir de uma curva de calibração Torque-Potência. Os dados obtidos são expressos em termos de quilos de  $O_2$  transferido, por HP-hora ou kW-hora para condições padrão, isto é, água limpa, 20°C, 760 mm Hg.

### 4 — Simulação do processo de aeração das águas.

A programação desta série de experiências está na dependência dos resultados que forem sendo obtidos inicialmente.

Em princípio pretende-se a reprodução no tanque de aeração do processo que ocorrerá num curso d'água que transporta uma carga poluidora considerável e uma certa população biológica ativa, e cuja atividade não é limitada pelo suprimento natural de oxigênio atmosférico através da superfície, porém é substancialmente acrescida pela instalação de equipamentos de aeração em secções sucessivas do canal.

O processo consistirá, pois, numa série de ciclos compostos, cada um de duas fases, uma de transferência de oxigênio para o líquido e outra de consumo deste oxigênio.

A simulação poderá ser feita com certa aproximação, conhecendo-se a velocidade das águas no canal e calculando-se os tempos de percurso entre duas estações sucessivas de aeração, bem como o tempo de percurso no trecho de influência de cada uma delas.

Desprezando-se o efeito da aeração superficial, podemos simular num tanque preenchido com a água poluída do rio ou canal, a sucessão dos ciclos de aeração ligando e desligando o aerador, por intervalos de tempo equivalentes às fases de transferência e de consumo estimados a partir da velocidade das águas, da extensão da zona de influência dos aeradores e da distância entre as estações de aeração sucessivas.

Com auxílio de um relógio programador, comandando a chave de ligação do aerador, vários esquemas podem ser estudados.

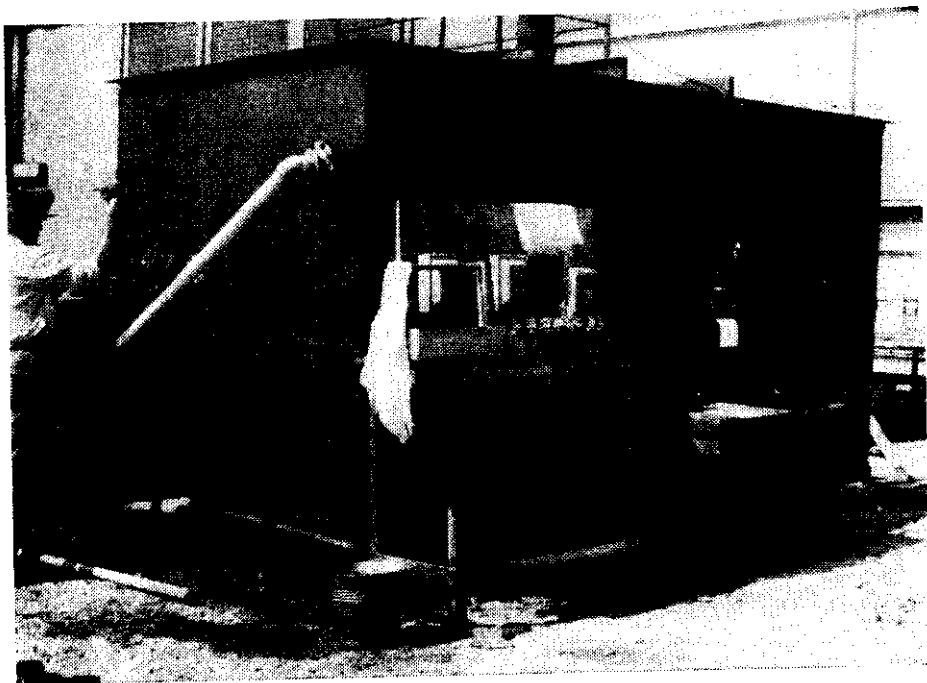


Foto n.º 2 — Close-up da instalação piloto de aeração, mostrando o "laboratório portátil de controle.

A poluição gradualmente crescente do curso d'água pode também ser simulada, alimentando-se o tanque, com a água poluída de tempos em tempos, de forma adequada.

## 6. DESCRIÇÃO DOS PRIMEIROS ENSAIOS REALIZADOS

A segunda fase do programa de estudos será retomada este ano, tão logo as condições das águas do rio atinjam um grau de poluição mais elevado, por falta de diluição suficiente. No ano passado foram realizadas algumas experiências iniciais, que serviram principalmente para familiarização com o equipamento utilizado e respectivos "modus operandi".

Apresentamos a seguir os dados obtidos em algumas dessas experiências:

### 1 — Teste de oxigenação

Data	27-8-64
Local	rio Pinheiros junto à Usina Traição
Temperatura da Água	21°C
BOD <sub>5,20</sub>	50 mg/l
O. D.	1,0 mg/l
C <sub>s</sub> (concentr. de saturação de O <sub>2</sub> )	8,4 mg/l
Deficit inicial	7,4 mg/l
Objetivo	determinação do coeficiente global de transferência de O <sub>2</sub>
Voltagem medida	220 V
Amperagem medida	4,4 a 4,6 amp.

Y			X	X <sup>2</sup>	XY
Tempo de aerção (min.)	O. D. mg/l	Deficit D mg/l	log D	—	—
0	1,0	7,4	0,869	0,755	0
1	2,9	5,5	0,740	0,547	0,740
2	3,6	4,8	0,681	0,463	1,632
3	4,4	4,0	0,602	0,362	1,806
4	5,0	3,4	0,531	0,282	2,124
10			3,123	2,409	6,032

$$\eta = 5$$

$$\Sigma y = 10$$

$$\Sigma x = 3,423$$

$$\Sigma x^2 = 2,409$$

$$\Sigma xy = 6,032$$

Utilizando-se as equações normais da análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados, respectivamente

$$a + b \left( \frac{\Sigma x^2}{\Sigma x} \right) - \left( \frac{\Sigma xy}{\Sigma x} \right) = 0$$

$$a + b \left( \frac{\Sigma x}{\eta} \right) - \left( \frac{\Sigma y}{\eta} \right) = 0$$

obtemos a equação da reta de melhor aderência aos pontos obtidos experimentalmente

(\*) O valor de O. D. no rio era 0,0 mg/l, porém, por efeito de bombeamento, apresentava já 1,0 mg/l no tanque de aerção, antes de se iniciar o teste.

$$t = 10,2 - 12 \log D \quad \text{ou}$$

$$\log D = 0,85 - 0,083 t$$

donde

$$K_2 = 0,083$$

$$K_2 = 2,3 \times 0,083 = 0,192 \text{ min.}^{-1}$$

ou 11,4 h.  $^{-1}$

2 — Teste de oxigenação

Data	29-8-64
Local	rio Pinheiros junto à Usina Traição
Temperatura da Água	22°C
BOD <sub>5,20</sub>	60 mg/l
O. D.	0,5 mg/l
C saturação	8,3 mg/l
Deficit inicial	7,8 mg/l
Objetivo	o mesmo do teste anterior
Voltagem medida	220 V
Amperagem medida	4,6 a 4,8 amp.

Y			X	X <sup>2</sup>	XY
Tempo de aerção (min.)	O. D. mg/l	Deficit D mg/l	log D	—	—
0	0,5	7,8	0,892	0,795	0
1	1,9	6,4	0,306	0,649	0,806
2	2,6	6,7	0,755	0,571	1,511
3	3,7	4,6	0,663	0,441	1,989
7	3,9	4,4	0,644	0,415	2,905
13			3,760	2,871	6,211

$$\eta = 5$$

$$\Sigma y = 13$$

$$\Sigma x = 3,760$$

$$\Sigma x^2 = 2,871$$

$$\Sigma xy = 6,211$$

Utilizando-se os dados acima nas equações normais já indicadas, obtemos a equação da reta de melhor aderência

$$t = 2,615 - 45 \log D \quad \text{ou}$$

$$\log D = 0,058 - 0,022 t$$

dónde

$$K_2 = 0,022$$

$$K_2 = 0,051 \text{ min.}^{-1} = 3,06 \text{ h.}^{-1}$$

3 — Teste de desoxigenação

27-8-64

Data

rio Pinheiros junto à Usina Traição

Local

21°C

Temperatura da Água

determinação da velocidade de consumo de

Objetivo

oxigênio (up-take rate)

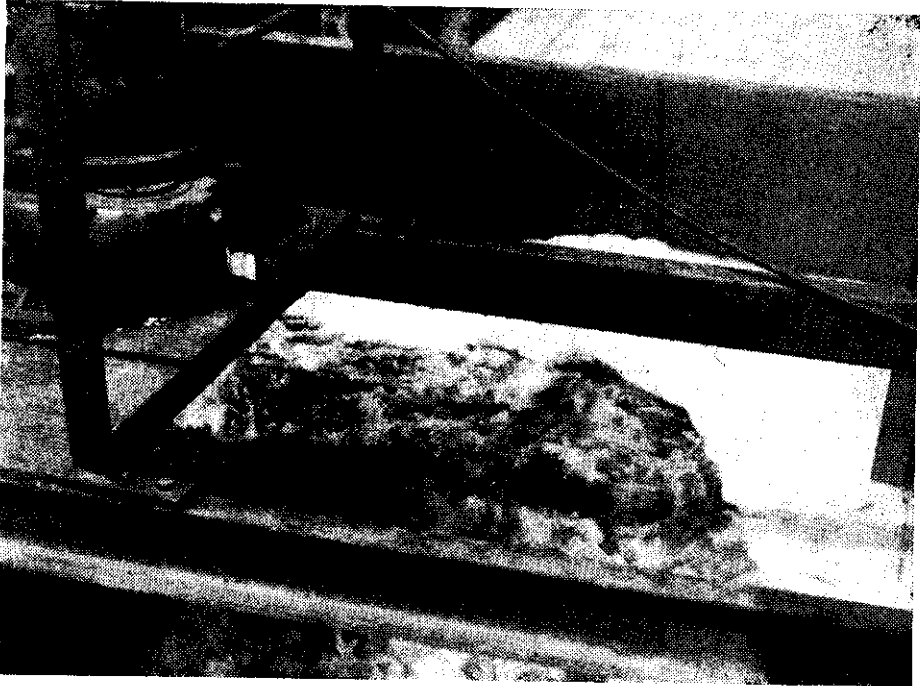


Foto n.º 3 — Foto da superfície da água no interior do tanque de aeração mostrando intensa turbulência e acumulação da espuma devido a detergentes.

Tempo decorrido (minutos)	O. D. mg/l
3'	6,2
7'	6,0
12'	5,5
17'	5,5
22'	5,4
30'	5,3
50'	5,1

Velocidade média aproximada 1,5 mg/l hora

**Nota:** Para êste teste a água do rio foi previamente aerada até atingir cerca de 6,5 mg/l de oxigênio dissolvido.

4 — Teste de desoxigenação

Data

29-8-64

Local

rio Pinheiros junto à Usina Traição

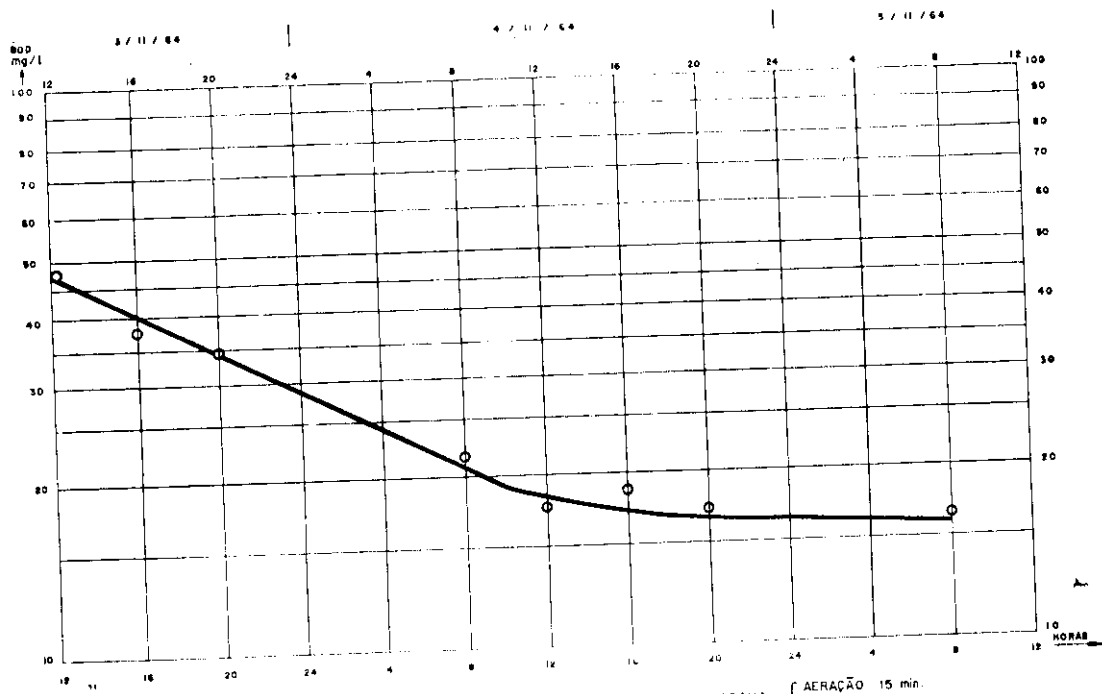
Temperatura da Água

22°C

Objetivo

idêntico ao do teste anterior

Tempo decorrido (minutos)	O. D. mg/l
5'	4,2
10'	3,5
20'	3,2
30'	3,1
45'	2,4
90'	2,0
105'	1,9
120'	1,1



EXPERIÊNCIA DA AERAÇÃO DA ÁGUA DO CANAL DO RIO PINHEIROS  
3/11/64 a 5/11/64

PROGRAMA { AERAÇÃO 15 min.  
INTERVALO 3h 45min

Ilustração n.º 2 — Redução de BOD da água do Rio Pinheiros com aeração intermitente.

Velocidade média aproximada: 1,55 mg/l hora.

5 — Teste de simulação do processo de aeração do canal ou rio.

Data 3-11-64 a 5-11-64 — Duração do Teste: 48 horas.

Local rio Pinheiros junto à Usina Traição.

Este teste foi controlado automaticamente por meio de um relógio elétrico programador que permitiu a repetição do ciclo, formado por um período de 15 minutos de aeração seguidos de um intervalo de 3 horas e 45 minutos de quiescência, durante 48 horas.

Imediatamente antes do início e no fim de cada período de aeração foram tomadas amostras do líquido e analisadas. As ilustrações anexas, n.º 2 e 3, indicam a evolução do teor de oxigênio dissolvido, nesse período de 48 horas, bem como a redução obtida na BOD.

Todos os testes descritos foram do tipo "batch", isto é, o tanque de aeração era preenchido com água do rio, a qual era mantida no tanque até o fim do teste sem renovação ou recirculação de qualquer espécie.

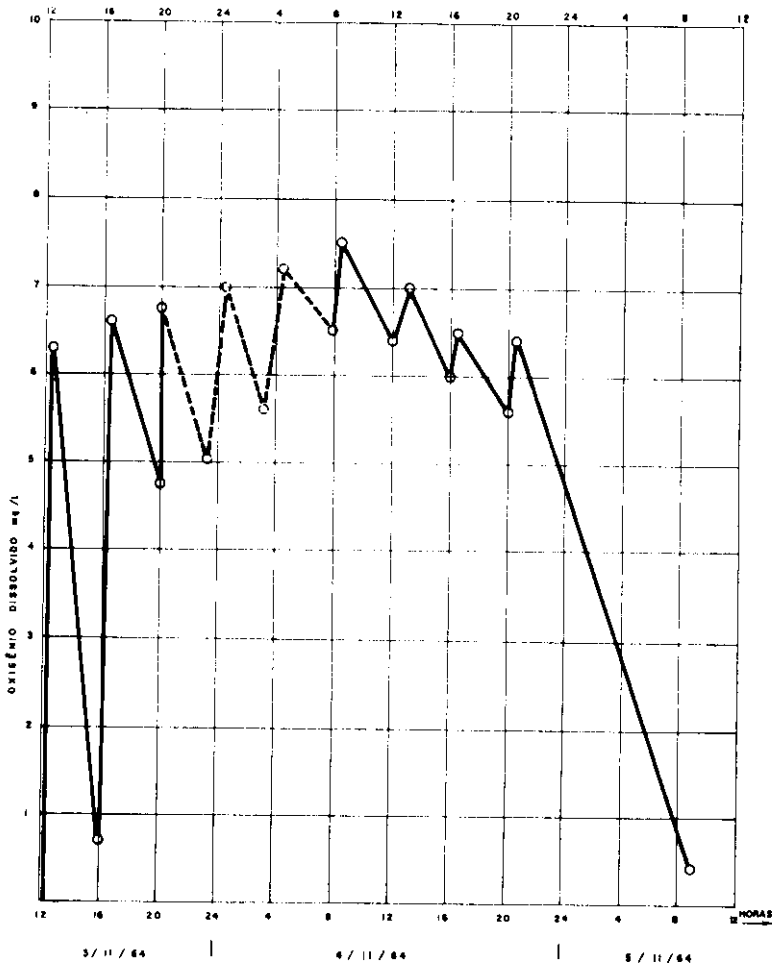


Ilustração n.º 3 — Evolução do teor de oxigênio dissolvido com aeração intermitente das águas do Rio Pinheiros.

## 7. COMENTÁRIOS FINAIS

### O equipamento

O equipamento utilizado mostrou-se de simples e eficiente operação permitindo a execução rápida das experiências programadas e deixando prever a possibilidade de um grande número de outros tipos de testes.

Não obstante, algumas observações podem ser feitas com relação a alguns aperfeiçoamentos que poderão ser introduzidos no equipamento.

A entrada da água bruta, por exemplo, se realizada de forma submersa, possivelmente evitará a aeração inicial que se verifica atualmente na descarga livre do vertedor de entrada.

Robinetes colocados a diversas profundidades nas paredes laterais do tanque facilitarão o trabalho de amostragem.

Recomenda-se também a instalação de um porta-termômetro.

O acionamento da turbina, se dotado de um variador de velocidades, oferecerá maior flexibilidade e um melhor ajuste do ponto de operação ótima nas condições específicas de trabalho.

### Os primeiros resultados.

Os poucos testes realizados oferecem um número diminuto de dados, insuficiente para que se possa iniciar uma análise significativa.

Podemos informar, entretanto, que serviram para indicar que os parâmetros físico-químicos procurados poderão ser determinados seguramente.

As experiências de simulação do processo de aeração revelaram uma eficiência acima da esperada, o que tem, sem dúvida, significado bastante promissor, para o caso especial de São Paulo.

Os autores desejam reiterar seus sinceros agradecimentos às Autoridades e colaboradores, especialmente aos engenheiros Joaquim Faria Cardoso Júnior, atual Diretor do DAE, Nassim Nadruz, Mário Eugênio Dorsa e Eng. Ágato Estevan Mingione, ex-Diretores, que propiciaram a continuidade do presente estudo, bem como aos engenheiros José Meiches, Milcíades de Moraes, Paulo Paiva Castro, José Samuel de Oliveira Pedroso, José Cerqueira Dias de Moraes, Deodato de Melo Freire, Samuel Branco, Gustavo Sciuillo, Walner Marincek, pelo apóio, sugestões e orientações recebidas. Ao saudoso dr. Estanislau Blumberg nosso preito de gratidão pela sua valiosa colaboração.



*Sem dúvida alguma a Engenharia Sanitária Brasileira, atravessa atualmente nova fase áurea. Assim, por exemplo, o tradicional Departamento de Aguas e Esgotos de Porto Alegre, já transformado em verdadeira e eficiente autarquia, com a nova sigla DMAE, está executando no momento um importante programa de obras novas de abastecimento de água e esgotos sanitários, sob a Direção Geral do conhecido Engenheiro José Joaquim de Assumpção Neto. Uma nova e auspiciosa realização acaba de ser concretizada com a publicação da interessante revista "DMAE — INFORMATIVO", diretor o eng. Paulo S. Zubaran, cujo segundo número acaba de ser pôsto em circulação. Essa realização não poderia passar despercebida de nossa revista e é com o maior entusiasmo que auguramos à nova publicação, vida longa e proficua.*

*Os interessados nessa publicação trimestral, poderão dirigir-se à sua redação, Rua 24 de Outubro, 200, P. Alegre.*